

## 撥音／ん／の周波数下降と高さの知覚との関係

渡辺 守, 山田真司, 中山一郎

大阪芸術大学芸術学部音楽学科

〒585 大阪府南河内郡河南町東山

撥音／ん／が歌唱されるとき、楽譜上の音高より低く知覚されることがある。本研究では、5名のプロのソプラノ歌手に一定の音高で”先行母音+／ん／”で構成されるテキストを歌唱させた。これら歌唱された音韻の基本周波数を測定した結果、ほとんどの場合において、先行母音よりも／ん／の基本周波数が下降していた。一方、このような／ん／の周波数下降が見られた歌唱音を素材に、高さの知覚を調べた結果、／ん／の高さは先行母音より低く知覚されなかった。したがって、今回実験で用いたプロ歌手達は、／ん／の高さが先行母音の高さに聴こえるように、／ん／の基本周波数を下げて歌唱していたのではないかと考えられる。

## Relationship between descent in frequency and perceived pitch for syllabic nasals in singing voices

Mamoru Watanabe, Masashi Yamada and Ichiro Nakayama

Department of Musicology, Osaka University of Arts

Higashiyama, Kanan-cho, Minamikawachi-gun, Osaka, 585 JAPAN

Some singers recognize that syllabic nasals in singing voices are sometimes perceived to be a lower pitch than as described in the scores. In the experiment of the present study, five professional soprano singers sang texts, each of which consisted of a vowel followed by a syllabic nasal, in consistent pitches. The fundamental frequencies of these sung phonemes were measured. As a result, the fundamental frequencies of syllabic nasals were lower than the frequencies of preceding vowels in most of the cases. The perceived pitches for these sung texts were measured in a psychological experiment. The syllabic nasals were not perceived in lower pitches than the pitches of preceding vowels. Conclusively, the professional singers may have sung syllabic nasals in some lower frequencies for listeners to perceive the same pitch as the preceding vowels.

## 1. はじめに

撥音／ん／（以後、／ん／と略記）は、音声学上、有声子音に分類され、調音点の違いによって、／m／、／n／、／ŋ／等に細かく分類される。

西洋の歌曲においては、／m／、／n／、／ŋ／等の有声子音が比較的長い音符に割り当てられている曲はほとんどないが、日本語の歌詞の歌曲のなかでは、この／ん／が長い音符に割り当てられることが、しばしばある。著者の一名は、声楽家を志す者であるが、このように／ん／が長い音符に割り当てられている曲が、一般の歌手や声楽を専攻する学生に歌唱される場合、長く持続された／ん／の音が、楽譜に示された高さより低く聴こえたり調整からはずれて聴こえることをしばしば経験している。この著者自身が歌唱練習を行う場合において、自分は楽譜通りの高さで歌っているつもりでも、教師や同僚に、／ん／の高さが低いと指摘されることがある。この様な場合、ピアノで楽譜上の音高の鍵を弾くと、／ん／の歌唱音がピアノの音より低いことが実際に確認できる。また、歌唱時には気がつかなかったのに、録音を聴いて、／ん／の高さが下がっていることに気がつくことがある。このように、／ん／の歌唱音の高さが、歌手自身が気づかずに、下がってしまう現象は、この著者の一名を含め、数名の声楽家が経験的に知っている事柄であるが、これが声楽家一般に認識されている事柄であるかどうかは定かではない。

本研究では、この／ん／が下がって知覚される現象を解明するために、第一に、歌唱された／ん／の基本周波数が物理的に下がっているかどうかを調べ、さらに、この基本周波数と高さの知覚との関係を調べた。

まず第一に、／ん／の歌唱音が他の音よりも物理的に低い基本周波数で歌われているのかどうかを調べるために、「先行母音＋／ん／」のテキストをプロのソプラノ歌手に同一音高で歌唱させ、その基本周波数を調べた。

第二に、これらの歌唱音のいくつかを素材として、先行母音と／ん／の基本周波数が異なる

場合、あるいは同じ場合において、これら2音の高さがどのように知覚されるかを調べた。

過去に、歌唱音声について、母音間での高さの知覚の差異に関する研究や、／ん／の物理的音響特性についての研究は報告されているが、／ん／の歌唱時における周波数下降と聴こえとの関係を示した研究は行われていない。

このように、著者を含めた声楽家が経験的に抱いている現象を定量的に分析することにより、声楽の教育、指導への貢献が期待される。

## 2. 歌唱音／ん／の基本周波数

### 発声テキストと発声者

調音点がそれぞれ異なる三種類の／ん／（／m／、／n／、／ŋ／）に、先行母音（／a／、／i／、／u／、／e／、／o／）を付加し、それらをランダムに配置した発声テキストを作成した。そのテキストを Fig. 1 に示す。

Fig. 1 に示す発声テキストを、4種類の音高（Ais5, Cis5, E5, G5）で、プロのソプラノ歌手（6名）に歌唱させた。歌唱に際して音節間に切れ目なく、両音節を同一音高で約2秒づつ発声するよう指示した。また、歌唱時の意識として、日本語の歌詞を明確に伝達することを意識して発声する（以後日本語と略記）場合と、響きに重点をおいて発声する（以後響きと略記）場合の2通りの意識のもとで発声させた。

a	m	i	n	o	ŋ	e	m	u	n
a	ŋ	i	m	o	n	e	ŋ	u	m
a	n	i	ŋ	o	m	e	n	u	ŋ

Fig. 1 発声テキスト

## 歌唱音の収録と基本周波数の測定

歌唱はすべて無響室で発声させ、歌唱音声は口唇前方 1m に設置したコンデンサーマイクロフォンを通して DAT に収録した。

得られた音声試料を、サンプリング周波数 32 KHz、で A/D 変換を行い、FFT による周波数分析を行った。この分析に際し、ポイント数は 8192 点とし、ハミング窓を用いた（この測定方法の周波数測定精度は 3.9 Hz である）。

各母音、/ん/の基本周波数は、定常部内の 4ヶ所で求めた基本周波数を平均した値と定めた。このようにして求められた先行母音の基本周波数から/ん/の基本周波数を引いた値をセントに換算した。この時、/ん/が先行母音より周波数下降している場合には、マイナスの値をとる。これのマイナスの値の絶対値をセントに換算した周波数下降量と定めた。

## 測定の結果と考察

求められたデータより、

- 1) /ん/の基本周波数は、先行母音より下降しているのか、  
について分析を行った。

/ん/の周波数下降の典型的な様子を Fig. 2 に例示する。なお、後述する 5次元分散分析の結果、先行母音による影響は有意と認められなかったため、同図においては、先行母音の条件にわたる平均をとった。Fig. 2 の縦軸の 0 cent の値は先行母音の基本周波数の値を示しており、マイナスの値をとるほど/ん/の周波数が先行母音より下降していることを表している。

Fig. 2 より、/ん/の周波数が先行母音の周波数より下降していることは明かである。また、この下降量は、周波数測定精度、また純音における周波数弁別閾よりも大きいことも明かである。その他の発声者の場合も、同様の周波数下降がみられたが、例外として、最も高い音高 G5 の場合においては、Fig. 3 のように/ん/の周波数が先行母音より上昇する発声者もいた。これは、G5 という非常に高い音を歌唱する場

合、りきみが生じる場合が多く、このりきみによって、音の高さを制御しにくくしたのではないかと推察できるが、今後検討が必要である。

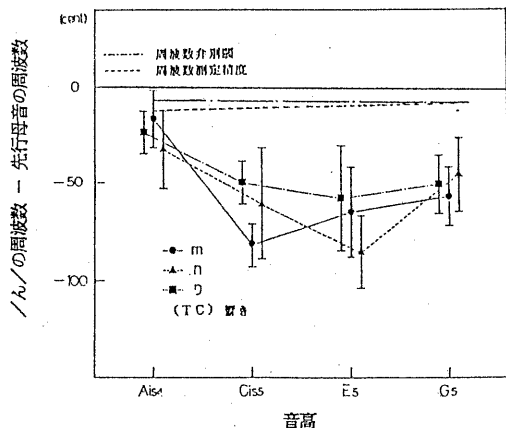


Fig. 2 /ん/の周波数下降の例  
(先行母音にわたる平均)

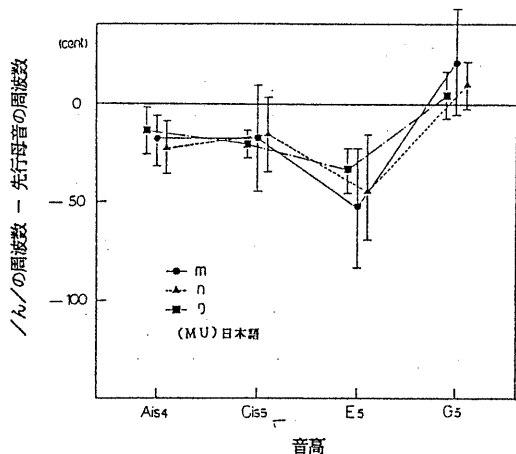


Fig. 3 /ん/の基本周波数が  
先行母音より上昇している例

以上の結果より、先行母音+／ん／を同一音高で歌唱させた場合、プロの歌手であるにもかかわらず、ほとんどの音節で先行母音より／ん／の周波数が下降していることがわかった。

ここでは基本周波数という物理量について検討したが、高さの知覚については明らかにされていない。このように物理的に基本周波数が下降した／ん／の高さが、聴取者にとって、先行母音よりも低く聴こえるならば、これらのプロ歌手が同じ音高で歌ったつもりでも、聴取者にとっては低く聴こえてしまうことになる。

一方もし、このように物理的に低い基本周波数を持つ／ん／が、聴取者にとって、先行母音と同じ高さに聴こえるならば、これらプロ歌手は意図的に／ん／の音を低めの周波数で歌うことによって、目的の高さで聴かせていることを意味するであろう。

そこで次に、ここで／ん／に周波数下降が見られた歌唱音を素材に、その高さのきこえを調べることにした。

### 3. 歌唱音／ん／の高さの知覚

#### 素材とした歌唱音とその周波数

前述した、“先行母音+／ん／”から成る音節をプロのソプラノに歌手に歌唱させた音声試料の中から、／ん／の種類／m／，／n／，／ɲ／の3種類、音高は、C i s5, E5, G5、の3種類、先行母音は、／a／，／i／，／u／、の3種類、そして、3名の歌手を選定し、合計3×3×3×3の81通りの音声試料を音素材として用いた。なお、発声時の意識は、日本語を明確に伝えることを意識して発声する場合に統一した。

これらの音素材は、すべて先行母音に比べて／ん／の周波数が弁別閾以上に下降している音節を対象としたものであるが、前述の基本周波数の測定方法では、周波数測定精度(3.9 Hz)が、対象となる音刺激の周波数付近での純音の弁別閾(約1Hz)より大きくなる。<sup>23</sup>

この方法では、後述のように、／ん／の周波数を先行母音の周波数に一致させて加工するには精度が十分ではない。

そこで、ここでは、音素材として用いた音節の各母音、および／ん／の定常部の波形にローパスフィルターをかけ、ゼロ交差点法によって各波の周期を測定することによって、平均基本周波数を測定する方法を用いた。このときの周波数測定精度は、0.8 Hz 以内である。

#### 素材音の加工

上記の81種類の音素材を、サンプラー AKAI S 3200 に標準化周波数 44.1 KHz で取り込み、各素材音に対して以下の3通りの加工を施し、合計  $81 \times 3 = 243$  種類の実験音を作成した。

1) いっさい加工を施さず、歌手が歌唱したそのままのもの。

(以後、Original と呼ぶ)

2) 先行母音の終了部に強制的な立ち下げをつけ、／ん／の開始部に強制的な立ち上がりをつけることによって、わたりを含まない音節に加工を施したのもの。

(以後、Envelope と呼ぶ)

3) Envelope 加工によって先行母音と／ん／を切りはなした後、更に、／ん／の周波数を先行母音の周波数に合わせたもの。

(以後、Same Frequency と呼ぶ)

この時、Envelope、Same Frequency 条件における先行母音の立ち下がりについては、わたりの始まる 300 ms 前から、わたりの直前までの間で、強制的な立ち下げをつけ、／ん／の立ち上がりについては、わたりの終了部直後から 300 ms までの間に、強制的な立ち上げをつけることによって実現した。

なお、Same Frequency における周波数の一致精度は、0.5 Hz 以内であった。

#### 被験者と実験手続き

作成した243通りの実験音をランダムな順で、ヘッドフォン STAX SR-1PRO を通して、diotic に被験者に呈示した。音刺激の呈示レベルは、先行母音が約 80 dB、／ん／が約 63 dB である。実験はすべて防音室内で行った。被

験者は、大阪芸術大学の音楽学科学生 13 名である。

被験者には、先行母音に比べて／ん／の高さを、「非常に低い」から「非常に高い」までの 7 段階で評定を行うよう教示した。

### 結果と考察

7 段階の評価に対して、「非常に高い」を +3、「どちらでもない」は 0、「非常に低い」は -3 と、それぞれ点数化し、各刺激に対し、すべての被験者の平均した値を、各刺激の、／ん／の高さの評価値と決めた。

次に、この高さの知覚に影響を及ぼす要因を検討するために、／ん／の種類、音高、先行母音、発声者の 4 つの要因で、4 次元多元分散分析を行った。ただし、音節の加工条件は、明らかに有意であると考えられるために、分散分析の要因から外し、音節の加工条件ごとに分析を行った。

分析の結果、3 種類の音節の加工条件いずれの場合においても、／ん／の種類だけが有意な要因と認められた。このため、以下の分析においては、音節の加工条件と、／ん／の種類のみについて分析を行うこととし、他の要因については、すべての条件にわたって平均をとった。

加工条件による／ん／の高さの知覚の変化の様子を、／ん／の種類ごとに示したものを Fig. 4 に示す。

Fig. 4 の縦軸の 0 の値は先行母音の高さを表しており、プラスの値をとるほど高く、マイナスの値をとるほど低く知覚されたことを表している。

同図から、Original および Envelope の条件においては、先行母音と／ん／の高さは、全体的にほぼ一致していることが見てわかる。

実際、先行母音の値 (0 値) と、／ん／の高さの評定値とに有意な差があるのかを検討するために、z 検定を行った結果、これら 2 つの音節の加工条件においては、いずれの場合も、危険率 5 % 未満で /ん/ の高さの評定値は、0 から有意に離れていないことが確認された。

また、t 検定の結果、いずれの /ん/ の種類の中でも危険率 5 % 未満で、Original と Enve-

lope の条件間に有意な差がないことが確認された。このことは、Original の音節に加工を施しても、／ん／の高さの評定値には影響がないことを意味している。

一方、Same Frequency 条件においては、／ん／の高さは、先行母音より高く知覚されていることがわかる。実際、z 検定により、Same Frequency 条件の /ん/ の平均値は、評定値が、0 より有意に高いことが確認された。また、Same Frequency 条件の /m/、/ɲ/ の場合においても、統計的な有意差は見られなかったものの、/ん/ の場合と同様に、Original Envelope 条件より高く知覚されていることが分かる。

これらのことから、先行母音 /ん/ の周波数を物理的に合わせると /ん/ は高く知覚される傾向にあり、むしろ、歌手が歌唱したそのままの音節のように、／ん／に弁別阈以上周波数下降がある方が、先行母音と同じ高さに知覚されることが分かった。

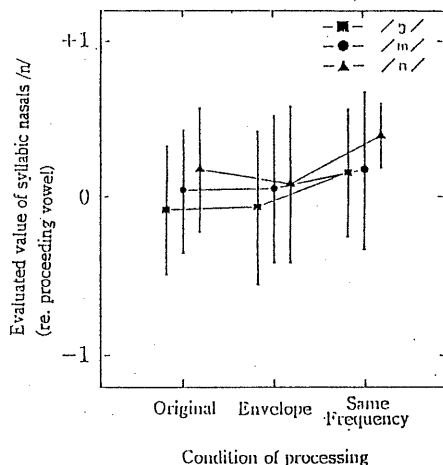


Fig. 4 音節の加工条件による／ん／の高さの知覚の変化の様子を、／ん／の種類ごとに示す。加工条件は Original (一切加工を施さないもの)、Envelope (先行母音の終了部、／ん／の開始部に Envelope 加工を施したもの)、Same Frequency (Envelope 加工を施し、更に /ん/ の周波数を先行母音の周波数に合わせたもの) の 3 通りである。

#### 4. 全体の考察とまとめ

プロのソプラノ歌手に“先行母音+／ん／”から成る音節を同一音高で発声させ、2つの音の周波数を比較した。その結果、先行母音の周波数に比べて／ん／の周波数が弁別閾以上下降していた。しかし、／ん／の周波数が弁別閾以上下降しているにもかかわらず、／ん／の音の高さは先行母音と同じ高さに知覚されることが分かった。

これらのことから、今回の実験で使ったプロのソプラノ歌手達は、／ん／の高さの聴こえを先行母音と同一にするための、周波数下降量を経験的に知っており、意識的に／ん／の周波数を下降させて歌っていたのではないかと考えられる。

ただし、どの発声者においても／ん／の周波数が純音での弁別閾より 30 ~ 40 cent 以上下降していた音節があり、その音節は先行母音より低く知覚されたていた。したがって、／ん／の歌唱音を聴いて、低く知覚されたり、調性から外れて知覚されたりする現象は、求める高さを実現するための周波数制御が、うまくできない場合に起こるのではないかと考えられ、一般の歌手においては、そのことが頻繁に起こることが予想される。

また、どの要因が／ん／の周波数下降量を最も大きく決定づけるのかを、FFTによる物理測定の際の周波数下降量を用いて、前述の5つの要因で分散分析で調べたところ、発声者の要因が最も効果が大きいことが認められた。これは、発声者による／ん／の周波数下降量は、他の要因による下降量よりも大きく変化していることを意味している。実際、今回使用した歌手の中に、純音の周波数弁別閾よりもかなり周波数が下降していた者がいた。このことは、プロの歌手の中にも、目的の高さを実現する周波数下降量を経験的に知っている歌手と知らない歌手がいることを示していると推察される。まして、一般の歌手、あるいは学生等であればこのような周波数の制御がうまく行えていないことが予想できる。

しかし、これらのことを矯正することは決して難しいことではないと考えられる。なぜなら、

／ん／という言葉をうまく制御して目的の高さに歌唱することは非常に難しいことであるかもしれないが、目的の高さを実現する周波数下降量が既知であるならば、周波数カウンター等を補助的に用いることによって、／ん／がちょうど良い高さに知覚されるための歌唱技術を身に付けられる可能性があることを示している。

今回、プロ歌手の／ん／の歌唱音の基本周波数は下がっているにもかかわらず、高さは先行母音とほぼ同じに知覚されることを示したが、このような基本周波数の状況と聴こえの状況との違いが、先行母音と／ん／との音色の違いによるものか、あるいは大きさの違いによるものなのかは明らかではない。今後、これらの要因について調べて行く。

また、今回用いた発声者達の場合は、先行母音と／ん／との高さの聴こえに違いはなかったが、声楽を専攻する学生などの場合、一般的に／ん／の歌唱音が上がって知覚されるのかについても調べる必要がある。

#### 謝辞

本研究のデータ処理にご協力していただいた安東泰宏氏、杉村信彦、清美氏、及び、大阪芸術大学音楽学科音楽工学実験ラボの皆様へ感謝します。また発声にご協力いただいた歌手の皆様へ敬意を表します。

#### 文献

- 1) 渡辺守 他 “撥音／ん／の周波数下降を決める要因について,” 音楽音響研資MA92-30 (1992).
- 2) 渡辺守 他 “撥音／ん／の周波数下降と高さの知覚との関係,” 日音講論集 2-2-7 (1993,3).
- 3) B.C.J. Moore, An Introduction to the Psychology of Hearing 3rd Ed. (Academic Press, San Diego, 1989), p.176.
- 4) J. Sundberg, "Perception of Singing," Psychology of Music, D. Deutsch, Ed. (Academic Press, Orland, 1982), Chap. 3.